
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2010/2011

April 2011

EEE 377 – PERHUBUNGAN DIGIT

Masa : 3 Jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi ENAMBELAS muka surat beserta Lampiran EMPAT muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Kertas soalan ini mengandungi **ENAM** soalan.

Jawab **LIMA** soalan.

Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.

Agihan markah bagi setiap soalan diberikan di sudut sebelah kanan soalan berkenaan.

Jawab semua soalan dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris atau kombinasi kedua-duanya.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].

"In the event of any discrepancies, the English version shall be used".

1. (a) Satu siri Fourier dalam bentuk trigonometri isyarat $s(t)$ adalah diberikan seperti;

A Fourier series trigonometric form representation of signal $s(t)$ is given as;

$$\begin{aligned} s(t) = & 0.6 + 0.490 \cos(0.4\pi t) + 0.796 \sin(0.4\pi t) - 0.058 \cos(0.8\pi t) \\ & + 0.398 \sin(0.8\pi t) + 0.039 \cos(1.2\pi t) + 0.265 \sin(1.2\pi t) \\ & - 0.122 \cos(1.6\pi t) + 0.199 \sin(1.6\pi t) + 0.082 \cos(2.4\pi t) \\ & + 0.133 \sin(2.4\pi t) + \dots \dots \text{volts} \end{aligned}$$

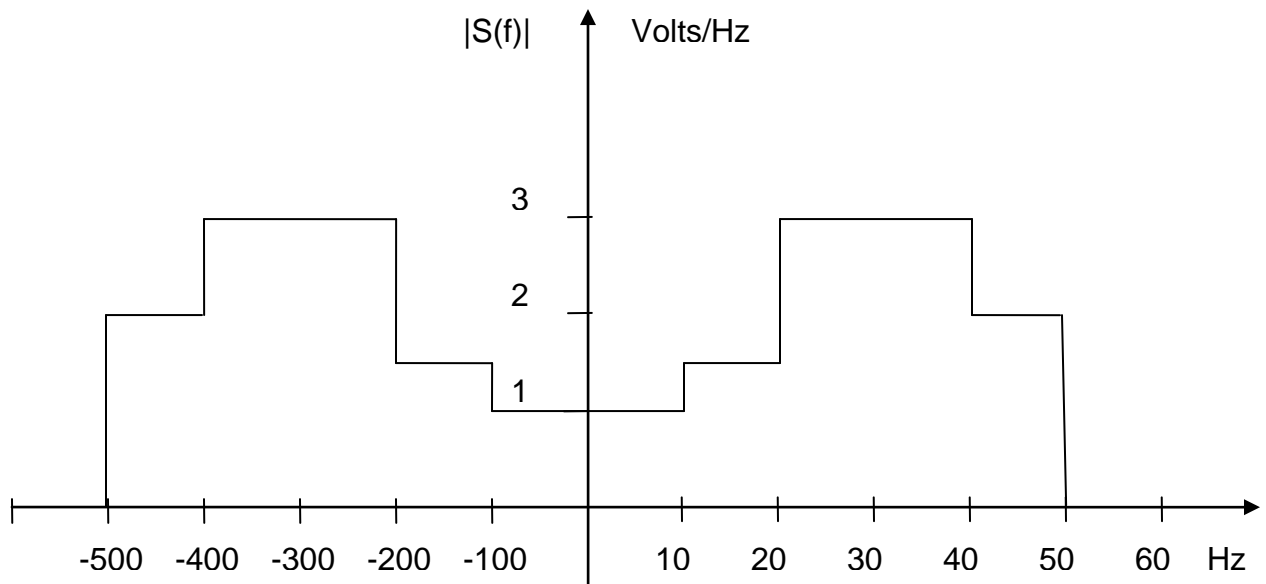
Cari yang berikut;

Find the following;

- (i) Kala untuk isyarat $s(t)$.
The period of $s(t)$. (10%)
- (ii) Persamaan satu-sisi isyarat $s(t)$. (n sehingga 6).
The one-sided expression signal $s(t)$. (n until 6). (20%)
- (iii) Persamaan dua-sisi isyarat $s(t)$. (n sehingga ± 3).
The two-sided expression signal $s(t)$. (n until ± 3). (20%)
- (iv) Lakarkan spektra dua-sisi untuk magnitud dan fasa.
(n sehingga ± 3).
Draw the two-sided magnitude and phase spectrum. (n until ± 3). (10%)

- (b) Adalah diberikan satu isyarat tidak berkala, mempunyai tenaga terhingga dan mempunyai spektra seperti dalam Rajah 1 di bawah;

Given a non-periodic, finite energy signal $s(t)$ with the magnitude spectrum $S(f)$ as shown in Figure 1 below;



Rajah 1: Magnitud spektra untuk satu isyarat tidak berkala
 Figure 1: Magnitude spectrum of a typical non-periodic signal

- (i) Lukis spektra tenaga ketumpatan ternormal $\Psi(f)$. (Sila tunjukkan unit pada setiap paksi).

*Draw the normalized energy spectral density $\Psi(f)$ spectrum.
 (Please show the unit for each axis)*

(10%)

- (ii) Cari tenaga ternormal (E_s) untuk isyarat tersebut. (Sila tunjukkan unit yang betul).

Find the normalized energy (E_s) of the signal. (Please indicate the right unit).

(10%)

- (iii) Sekiranya isyarat $s(t)$ melalui sebuah penapis lulus rendah (LPF) dengan frekuensi potongan adalah pada 400Hz. Cari tenaga ternormal ($E_{s-received}$) untuk gelombang pada keluaran penapis.

If $s(t)$ is passed through an ideal low pass filter (LPF) with a cutoff frequency of 400Hz. Find the normalized energy ($E_{s-received}$) of the waveform at the output of the filter.

(10%)

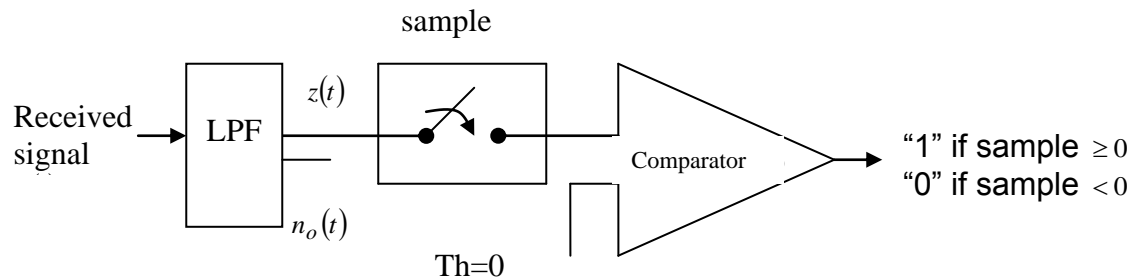
- (iv) Berapakah peratusan tenaga isyarat yang berada dalam julat frekuensi yang melalui penapis tersebut?

What percentage of the signal's energy lies in the frequency band passed by the filter?

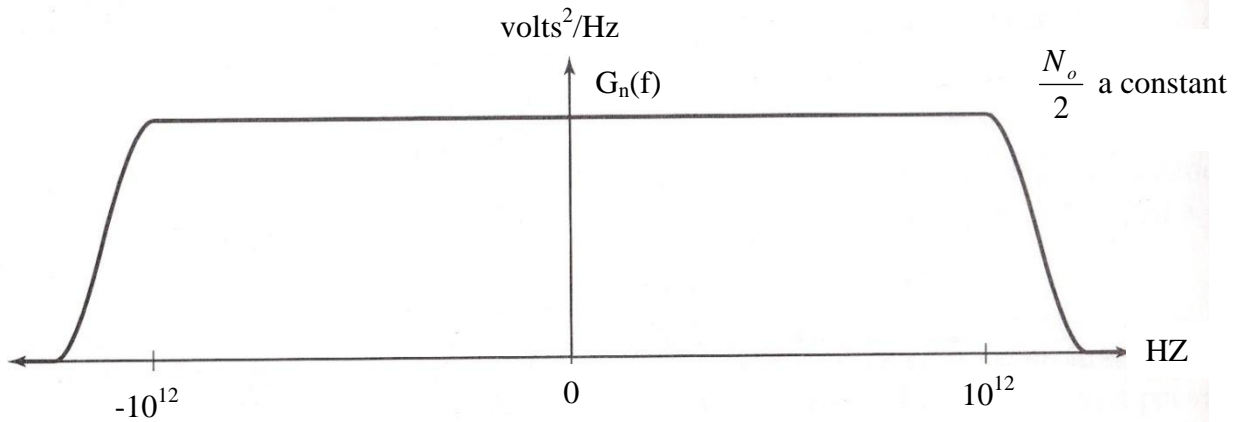
(10%)

2. (a) Rajah 2 menunjukkan secara terperinci sebuah penerima yang mengandungi sebuah penapis lulus rendah (LPF), pensampel, dan pembanding. Penerima ini digunakan dalam sistem komunikasi jalur dasar pemodulatan amplitud denyut binari (PAM). Isyarat yang diterima $r(t)$ adalah selepas saluran dan $n(t)$ adalah hingar dari saluran. Isyarat $z(t)$ adalah isyarat yang telah ditapis dan adalah komponen hingar selepas penapis lulus rendah (LPF).

Figure 2 shows the details of a receiver that consists of an ideal low pass filter (LPF) a sampler and comparator. This receiver is used in the baseband binary pulse amplitude modulation (PAM) communication system. The received signal $r(t)$ is the signal after a channel and $n(t)$ is the noise from the channel. The signal $z(t)$ is the filtered signal and $n_o(t)$ is the noise component after LPF.



Rajah 2: Sebuah penerima PAM mudah
Figure 2: A simple PAM receiver



Rajah 3: Spektra purata kuasa ternomal hingar pada kemasukan sebuah penerima.
 Figure 3: Average normalized power spectrum of noise at the input of the receiver.

Rajah 3 menunjukkan spektra ketumpatan purata kuasa ternomal ($G_n(t)$).

Figure 3 shows average normalized power spectral density ($G_n(t)$).

- (i) Lukiskan purata ketumpatan kuasa ternomal ($G_{no}(t)$) selepas penapis laluan rendah dan tunjukkan frekuensi potongan sebagai f_c .

Draw the average normalized power spectral density ($G_{no}(t)$) after the low pass filter and indicate the cut-off frequency as f_c .

(5%)

- (ii) Cari persamaan purata kuasa ternomal (σ^2) diberikan bahawa frekuensi potongan LPF adalah 5 kHz.

Find the expression for the average normalized power (σ^2) given that the cut-off frequency of LPF is 5 kHz.

(10%)

- (iii) Cari nilai N_o , diberikan bahawa isyarat yang diterima telah dilemahkan sehingga 50% dari isyarat asal dengan amplitud 2 Volts, dan kebarangkalian kesalahan bit adalah 0.0228. (Sila tunjukkan unit).

Find the value of N_o , given the received signal has been attenuated by 50% of the transmitted signal with original amplitude of 2Volts, and the probability of bit errors (P_e) is 0.0228. (Please indicate the unit).

(20%)

- (iv) Senaraikan dua parameter yang akan mempengaruhi prestasi sistem komunikasi jalur dasar PAM.

List two parameters that will affect the performance of the baseband PAM communication system.

(5%)

- (v) Bincangkan bagaimana parameter tersebut boleh menambah baik prestasi sistem komunikasi jalur dasar PAM.

Discuss how those parameters could improve the performance of the PAM communication system (lower P_e).

(10%)

- (b) Sebuah penghantar menggunakan denyut membentuk kosinus timbul. Bila isyarat berada dipenerima, voltannya hanya tinggal 40% dari voltan yang dihantar. Diberikan purata kuasa ternormal (σ^2) adalah 0.5 volts² dan anggap penyegerakan sempurna.

A transmitter uses a raised cosine pulse shaping to transmit a signal. By the time the signal arrives at the receiver, its voltage is only 40% of the transmitted voltage. Given that the average normalized power (σ^2) as 0.5 volts² and assumes perfect synchronization.

- (i) Cari amplitud denyut minima bagi isyarat yang dihantar yang diperlukan supaya kebarangkalian kesalahan bit adalah ($P_e \geq 0.1\%$).

Find the minimum pulse amplitude of the transmitted signal required to generate the probability of bit error ($P_e \geq 0.1\%$).

(15%)

- (ii) Cari frekuensi potongan maksima untuk LPF yang diperlukan supaya kebarangkalian kesalahan bit adalah ($P_e \geq 0.1\%$), diberikan $N_0 = 0.0001$ volts²/Hz.

Find the maximum cut-off frequency of the LPF required to generate the probability of bit error ($P_e \geq 0.1\%$), given that $N_0 = 0.0001$ volts²/Hz.

(15%)

- (c) Tentukan lebar jalur bagi satu isyarat yang dihantar dengan penghantaran kelajuan sebanyak 500,000 bits/sec jalur dasar pendua pemodulatan amplitud denyut (PAM) dengan menggunakan denyut berikut;

Determine the bandwidth of a typical transmitted signal with a transmission speed of 500,000 bits/sec for binary PAM with each of the following pulse shape;

- (i) Denyut berbentuk segiempat dengan anggapan penggunaan jalur denyut optima. (Sila lukiskan pasangan tukaran Fourier dan tunjukkan jalur tersebut).

*Rectangular pulse shape assuming optimum usage of pulse width.
(Please draw the Fourier transform pair and indicate the bandwidth).*

(10%)

- (iii) Denyut bentuk sinc dengan anggapan penggunaan jalur denyut optima. (Sila lukiskan pasangan tukaran Fourier dan tunjukkan jalur tersebut).

*Sinc-shape pulse assuming optimum usage of pulse width.
(Please draw the Fourier transform pair and indicate the bandwidth).*

(10%)

3. (a) Dalam sistem komunikasi analog nisbah signal-to-noise (SNR) digunakan sebagai tokoh-of merit. Tunjukkan bahawa untuk $\frac{E_b}{N_o}$ sistem komunikasi digital yang digunakan sebagai parameter SNR.

Di mana, E_b = tenaga bit

dan N_o = ketumpatan spektrum kuasa hingar sesisi bagi saluran

In analog communication system signal-to-noise ratio (SNR) is used as figure-of merit. Show that for digital communication system $\frac{E_b}{N_o}$ is used as SNR parameter.

Where E_b = bit energy

and N_o = single sided noise power spectral density of channel

(30%)

- (b) Shannon-Hartley teorem berkaitan kapasiti, C dari sebuah saluran AWGN dengan bandwidth, BW sebagai $C = BW \log_2(1 + SNR)$.

Tentukan batas Shannon dari $\frac{E_b}{N_o}$.

Shannon-Hartley theorem relates capacity, C of an AWGN channel with the bandwidth, BW as $C = BW \log_2(1 + SNR)$.

Determine the Shannon limit of $\frac{E_b}{N_o}$.

(40%)

- (c) Aliran bit 1 0 1 1 0 1 0 0 1 adalah yang akan dihantar menggunakan modulasi DPSK binari. Menunjukkan susunan dicipta dan juga kaitan fasa yang sesuai.

The bit stream 1 0 1 1 0 1 0 0 1 is to be transmitted using binary DPSK modulation. Show the encoded sequence and also the corresponding phase shift.

(30%)

...11/-

4. (a) Gambarkan blok diagram modulator dan Demodulator koheren untuk BPSK dan QPSK penghantaran isyarat dan dari blok carta analitik menunjukkan QPSK mempunyai dua kali kemungkinan kesalahan, P_e untuk rangkaian AWGN sama dengan tenaga bit sama, E_b .

Draw the block diagram of modulator and coherent demodulator for BPSK and QPSK signal transmission and from the block diagrams analytically show QPSK has twice the probability of error, P_e for the same AWGN channel with equal bit energy, E_b .

(30%)

- (b) Sebuah komunikasi binari sistem menghantar isyarat $S_i(t)$ dengan kebarangkalian yang sama diterima statistik uji $Z(T) = a_i(T) + n(T)$, di mana $a_1(T) = 7$ dan $a_2(T) = -7$. $n(T)$ adalah sifar min pembolehubah rawak Gaussian dengan variasi 4.

A binary communication system transmits signals $S_i(t)$ with equal probability. Received test statistics is $Z(T) = a_i(T) + n(T)$, where $a_1(T) = 7$ and $a_2(T) = -7$. $n(T)$ is zero mean Gaussian random variable with variance 4.

- (i) Tentukan Peraturan membuat keputusan yang optimum.
Determine the optimum decision rule.

(20%)

- (ii) Hitung kebarangkalian kesalahan.
Calculate the probability of error.

(20%)

- (c) Carilah kebarangkalian kesalahan bit untuk isyarat BFSK $S_i(t)$ disebarkan melalui saluran AWGN dengan bit rate 20kbps. Dua sisi kepadatan Noise spektral saluran tersebut ialah 10^{-9} W / Hz.

Find the bit error probability for a BFSK signal $S_i(t)$ transmitted through an AWGN channel with a bit rate of 20kbps. Double-sided Noise spectral density of the channel is 10^{-9} W/Hz.

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = 0.01 \cos(2000\pi t) & 0 \leq t \leq T_b \\ s_2(t) = 0.01 \cos(2002\pi t) & 0 \leq t \leq T_b \end{cases} \quad (30\%)$$

5. (a) Berikan pengertian bagi pengkodan sumber dalam konteks komunikasi digital dan bagaimanakah pengkod sumber menggunakan kenyataan bahawa sebahagian simbol sumber adalah lebih berkemungkinan daripada sebahagian yang lain?

Give the meaning of source encoding in the context of digital communication and how does a source encoder use the fact that some source symbols are more probable than others?

(20%)

- (b) Satu sumber isyarat mempunyai tiga simbol yang mana kebarangkalian masing-masing diberikan dalam Jadual 5 di bawah. Janakan kod Huffman untuk sumber tersebut dan purata panjang kod.

A signal source consists of three symbols with their corresponding probabilities of occurrence given in Table 5 below. Determine the Huffman codes for the source and their average code-word length.

Jadual 5
Table 5

Symbol	s_0	s_1	s_2
Probability	0.7	0.15	0.15

(30%)

...13/-

- (c) Sumber itu seterusnya dipanjangkan kepada dua lapisan. Gunakan pengkodan Huffman kepada sumber tersebut dan dapatkan purata panjang kod yang baru.

The source is then extended to order two. Apply the Huffman coding to the extended source and work out the average code length of the new code.

(40%)

- (d) Bandingkan antara kod Huffman yang dipanjangkan dan yang tidak dipanjangkan. Yang mana lebih efisien? Berikan justifikasi.

Compare the extended and non-extended Huffman code. Which one is more efficient? Give your justification.

(10%)

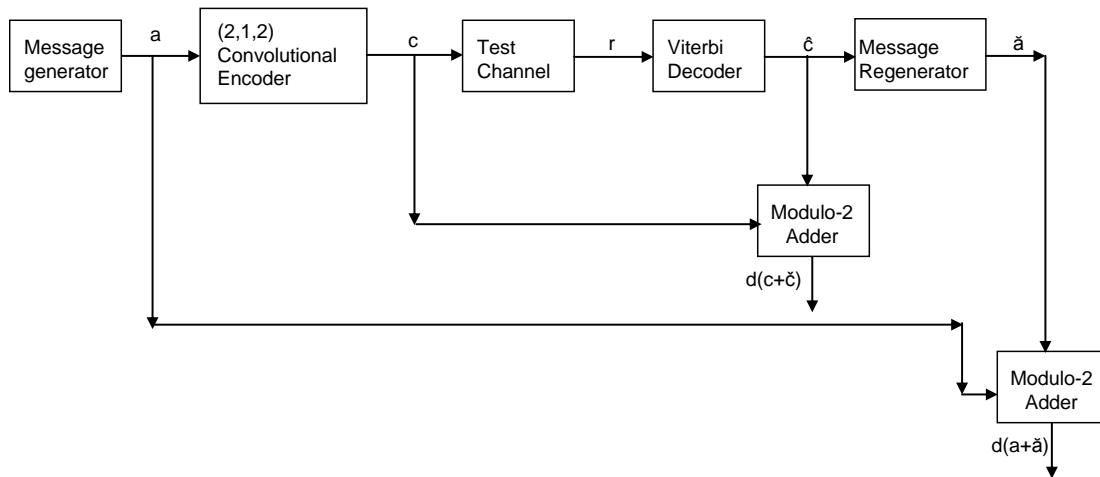
6. (a) Lukiskan satu pengkod konvolusi (2,1,2) dengan tindakbalas dedenyut (111) dan (101). Terbitkan polinomial penghasil, $g^1(D)$ dan $g^2(D)$.

Draw a (2,1,2) convolutional encoder with impulse responses of (111) and (101). Derive the generator polynomials, $g^1(D)$ and $g^2(D)$.

(30%)

- (b) Pengkod konvolusi (2,1,2) dalam (a) digunakan dalam litar seperti ditunjukkan di Rajah 4(a) di bawah.

The (2,1,2) convolutional encoder in (a) is used in the circuit as shown in Figure 4(a) below.



Rajah 4(a)
Figure 4(a)

Satu aliran bit pesanan, a dikodkan oleh pengekod (2,1,2) untuk menghasilkan katakod, c . Katakod tersebut dihantar melalui saluran ujian dan keluaran saluran adalah katakod yang diterima, r yang kemudiannya dimasukkan ke algoritma penyahkod Viterbi untuk menghasilkan katakod jangkaan, \hat{c} . Satu penghasilsemula pesanan menggunakan katakod jangkaan, \hat{c} untuk menghasilkan pesanan jangkaan, \hat{a} . Dua penyampur modulo-2 melakukan operasi elemen demi elemen antara c dan \hat{c} dan antara a dan \hat{a} untuk menghasilkan jarak-jarak Hamming, $d(c+\hat{c})$ dan $d(a+\hat{a})$.

A message bitstream, a is encoded by the (2,1,2) convolutional encoder to produce a codeword, c . The codeword is then sent through a test channel and the output of the channel is a received codeword, r which is then applied to a Viterbi decoding algorithm to produce an estimate codeword, \hat{c} . A message regenerator uses the estimated codeword, \hat{c} to produce an estimate message, \hat{a} . 2 modulo-2 adders perform element-by-element operations between c and \hat{c} and between a and \hat{a} to produce the Hamming distances, $d(c+\hat{c})$ and $d(a+\hat{a})$.

- (i) Dengan menggunakan polinomial penghasil yang diterbitkan di (a), kerjakan katakod, c apabila pesanan $a=100100$.

Using the generator polynomials derived in (a), workout the codeword, c when the message $a=100100$.

(25%)

- (ii) Katakod yang diterima, $r=101110111011$ daripada pesanan $a=100100$ dimasukkan ke algoritma penyahkod Viterbi. Kemajuan keputusan untuk setiap langkah sehingga ulangan ke enam ($j=6$) diberikan di Rajah 4(b) di bawah. Untuk tujuan analisa, kesemua laluan yang tidak selamat dikekalkan dalam rajah. Analisa keputusan itu dan tunjukkan bahawa jarak-jarak Hamming, $d(c+\hat{c})$ dan $d(a+\hat{a}) \neq 0$. Berikan penyebab kepada $d(c+\hat{c})$ dan $d(a+\hat{a})$ dan temukan punca penyebabnya.

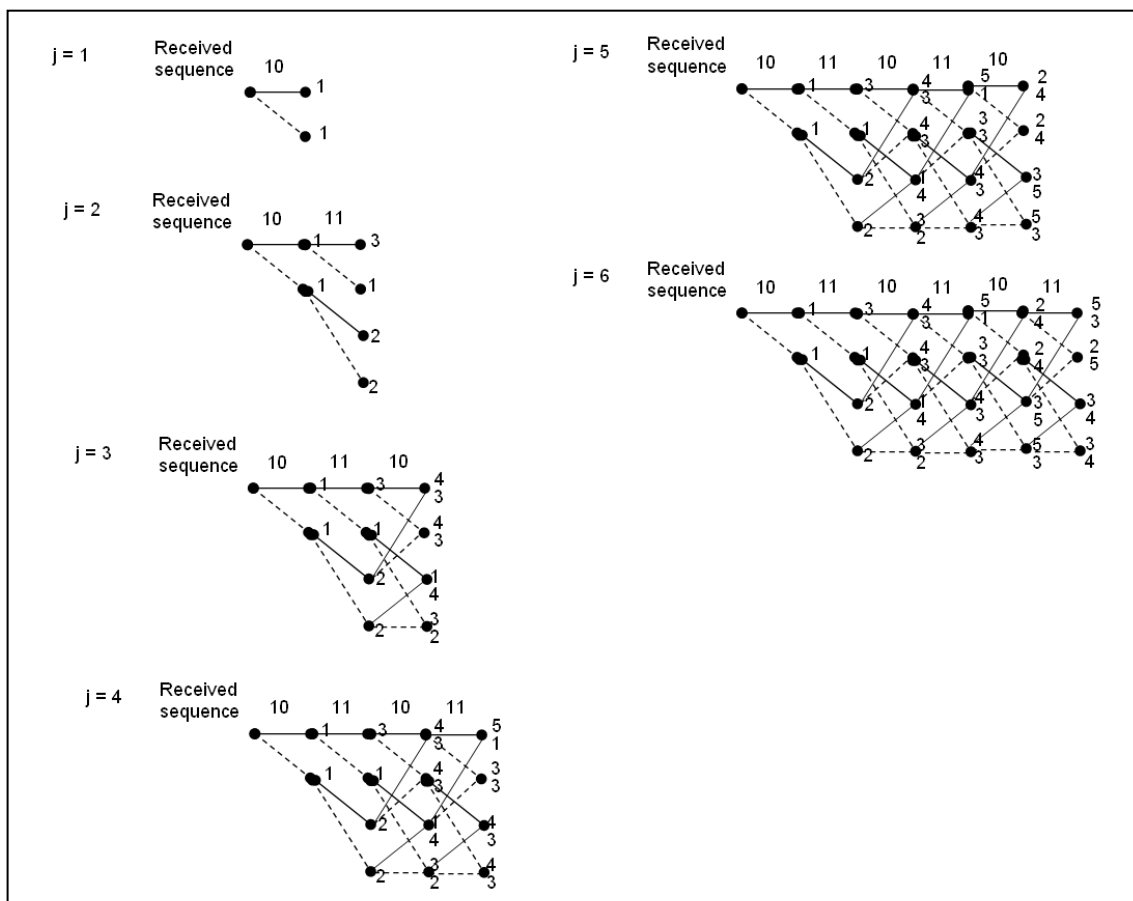
The received codeword $r=101110111011$ corresponding to the message $a=100100$ is applied to the Viterbi decoding algorithm. The progressive results of the decoding steps until the sixth iteration ($j=6$) is given in Figure 4(b) below. For the purpose of analysis, all the non-surviving paths have been retained in the diagrams. Analyse the progressive results and show that the Hamming distances, $d(c+\hat{c})$ and $d(a+\hat{a}) \neq 0$. Give possible reasons for $d(c+\hat{c})$ and $d(a+\hat{a}) \neq 0$ and find out the root cause.

(25%)

- (c) Rekakan satu pengekod yang baru yang mana apabila ia digunakan dalam litar di Rajah 4(b), jarak-jarak Hamming $d(c+\hat{c})$ dan $d(a+\hat{a}) = 0$. Anda perlu melukiskan pengekod baru itu dan membuat penilaian ringkas samada keperluan $d(c+\hat{c})$ dan $d(a+\hat{a}) = 0$.

Design a new encoder such that when it is used in the circuit in Figure 4(b) the Hamming distances, $d(c+\hat{c})$ and $d(a+\hat{a}) = 0$. You need to draw the new encoder and briefly evaluate whether it can meet the requirement of $d(c+\hat{c})$ and $d(a+\hat{a}) = 0$.

(20%)



Rajah 4(b)
Figure 4(b)

ooooOoooo

1. Fourier Series (Trigonometric form)

$$S(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(2\pi f_0 t) + b_n \sin(2\pi f_0 t))$$

where

$$f_0 = \frac{1}{T}$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s(t) \cos(2\pi f_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s(t) \sin(2\pi f_0 t) dt$$

2. Fourier Series (One-sided form)

$$S(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(2\pi f_0 t + \phi_n)$$

where;

$$X_0 = a_0; \quad X_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad \phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{-b_n}{a_n} \right)$$

3. Fourier Series (Double-sided form)

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi f_0 t}$$

$$\text{where } c_n = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s(t) e^{-j2\pi f_0 t} dt$$

4. Conversion between 2-sided to 1-sides Fourier Series

For $n > 0$;

$$c_n = \frac{1}{2}(a_n - jb_n) \quad \text{and} \quad c_{-n} = \frac{1}{2}(a_n + jb_n) \quad \text{or} \quad c_{-n} = c_n^*$$

$$|c_n| = |c_{-n}| = \frac{X_n}{2}$$

$$\angle c_n = \phi_n \quad \text{or} \quad \angle c_{-n} = -\phi_n$$

For $n = 0$;

$$c_0 = a_0 = X_0$$

5. Fourier Transform and Inverse Fourier Transform

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{j2\pi f t} df$$

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

6. Parseval's Power Theorem

$$P_s = \underbrace{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} s^2(t) dt}_{\text{time domain}} = \underbrace{X_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{X_n^2}{2}}_{\text{frequency domain}}$$

7. Parseval's Energy Theorem

$$E_s = \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt}_{\text{time domain}} = \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df}_{\text{frequency domain}}$$

8. Probability of bit error

$$P_e = \int_{\gamma A}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left(\frac{x-\mu}{2\sigma^2}\right)^2} dx = Q\left(\frac{\gamma A}{\sigma}\right) \quad \text{where } \mu = 0$$

Table 4-1 The Q Function (Gaussian Distribution with $\mu = 0$ and $\sigma = 1$)

$$Q(a) = \int_a^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

$$Q(a) \approx \frac{1}{a\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{a^2}{2}} \text{ for } a \geq 3$$

a	Third Significant Digit									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2297	0.2266	0.2236	0.2207	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1094	0.1075	0.1057	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0014	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002

Q(a)	a
10 ⁻⁴	3.73
5 × 10 ⁻⁵	3.90
10 ⁻⁵	4.27
5 × 10 ⁻⁶	4.43

Q(a)	a
10 ⁻⁶	4.76
10 ⁻⁷	5.20
10 ⁻⁸	5.61
10 ⁻⁹	6.00